

Vil et 10 års regn gi 10 års-avrenning fra et grønt tak?

Av Kim H. Paus og Bent C. Braskerud

Kim H. Paus (Dr. ing) er utdannet ved NTNU og jobber som førsteamanuensis ved NMBU. Bent C. Braskerud (Dr. scient) er utdannet ved NMBU, og jobber som sjefsingeniør i Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Summary

Does a 10-year rain yield a 10-year runoff event from a green roof? The hydrological performance of green roofs during extreme events is not well studied. In this study, 15 years of observations from an extensive green roof in Oslo are analyzed. By performing frequency analyses, intensity-duration-frequency (IDF) and runoff-duration-frequency (RDF) statistics are calculated. Analyses of 31 extreme events show that almost all extreme runoff is caused by extreme precipitation, but not all extreme precipitation leads to extreme runoff. Due to large variations in the hydrological initial conditions (soil water content prior to the extreme events), we find that the commonly used assumption of a 1:1 ratio between the return periods of precipitation and runoff does not hold. It is argued that using design storms for designing nature-based stormwater measures will introduce significant uncertainty, which can be avoided by using suitable models with long continuous time series of precipitation and temperatures. Finally, the results from the IDF and RDF statistics showed that the runoff from the green roof can be estimated using a runoff coefficient of 0.65–0.68 (duration ≤ 1 hour) or by subtracting a fixed retention (5.6–6.3 mm) from the design rainfall (duration > 1 hour).

Sammendrag

Den hydrologiske ytelsen på grønne tak under ekstremhendelser er ikke godt studert. I denne studien analyseres 15 år med observasjoner fra et ekstensivt grønt tak i Oslo. Ved å utføre frekvensanalyser er det beregnet intensitet-varighet-frekvens (IVF) og avrenning-varighet-frekvens (AVF) statistikk. Analyser av 31 ekstremhendelser viser at nesten all ekstremavrenning forårsakes av ekstremnedbør, men at ikke all ekstremnedbør leder til ekstremavrenning. Som følge av store variasjoner i de hydrologiske initialbetingelsene (vanninnhold i jorda i forkant av ekstremhendelsene) finner vi at den mye brukte antakelsen om 1:1 mellom gjentakintervall for nedbør og avrenning ikke stemmer. Det argumenteres for at bruk av modellregn til dimensjonering av naturbaserte overvannstiltak vil gi betydelig usikkerhet, som kan unngås ved å benytte egnede modeller med lange kontinuerlige tidsserier for nedbør og temperatur. Endelig viste resultatene fra IVF- og AVF-statistikken at avrenningen fra det grønne taket kan anslås ved å bruke en avrenningskoeffisient på 0,65–0,68 (varighet ≤ 1 time) eller trekke en fast retensjonsmengde (5,6–6,3 mm) fra dimensjonerende nedbør (varighet > 1 time).

Innledning

Grønne tak har blitt et populært og utbredt overvannstiltak i urbane områder. Nåværende forskning viser at tynne ekstensive grønne tak både vil tilbakeholde en andel av årsnedbøren og redusere spissavrenningen (flomtoppen) ved enkeltstående regnhendelser (Johannessen et al., 2018; Razzaghmanesh og Beecham, 2014; Stovin et al., 2012; Zhang et al., 2015). Jamfør trinn 2 og 3 i tre-trinnsstrategien for håndtering av overvann er det imidlertid de mest ekstreme hendelsene som må vurderes. VA-ingeniøren vil typisk beregne avrenning ved ekstreme hendelser ved et bestemt gjentakintervall, og designe overvannssystemer slik at maksimale verdier for videreført vannføring, dvs. utløp til vassdrag, terreng eller påslipp til offentlig avløpsanlegg tilfredsstilles (Paus et al., 2022). Ved beregning av systemer som fordrøyer overvann, benyttes normalt såkalte regnvelopmetoder der flere regnvarigheter betraktes.

Grønne ekstensive tak utgjør ofte en del av overvannssystemet og det er derfor vesentlig å kunne anslå forventet avrenningsmengde for et gjentakintervall og varighet. Ideelt ville vi anslått avrenningsmengden (mm eller l/(s ha)) fra et grønt tak for et bestemt gjentakintervall og varighet ved å bruke såkalt kurver for avrenning-varighet-frekvens (AVF). AVF-kurvne ville tjene samme formål for avrenning som intensitet-varighet-frekvens (IVF) kurver gjør for nedbør, og som flom-varighet-frekvens (QVF) kurver gjør for flomberegning (Javelle et al., 2002). Ulempen er at AVF-kurver forutsetter at det er gjennomført frekvensanalyser på tilstrekkelig lange måleserier med avrenning (> 10 år). Som følge av kostnader ved instrumentering og overvåking, er måleperioden for avrenning fra overvannstiltak som grønne tak imidlertid normalt begrenset til måneder og/eller få år. Et alternativ er derfor å bruke modeller (f.eks. SWMM) sammen med lange historiske tids-serier for nedbør og temperatur for å simulere avrenning over flere år (Liu og Chui, 2019; Locatelli et al., 2014; Stovin et al., 2013; Zhang et al., 2021). En utfordring med simuleringer er imidlertid at antallet ekstremhendelser for

kalibrering og validering av modellene naturligvis er svært begrenset. Mens flere modeller har vist god evne til å reproducere avrenning for små og moderat store regnhendelser, er det klare tendenser til avrenning for de største hendelsene enten under- eller overestimeres (Abdalla et al., 2022; Johannessen et al., 2019; Peng og Stovin, 2017).

I mangel på AVF-statistikk benytter ingeniører i praksis et modellregn for å bestemme avrenning ved ekstremnedbør. Modellregnet (f.eks. såkalte *kasseregn* eller *blokkhyetogram*) konstrueres fra lokal IVF-statistikk og tilknyttes et bestemt gjentakintervall samt én eller flere regnvarigheter. Mindre bevisst er vi kanskje på at et modellregn også forutsetter en 1:1-sammenheng mellom gjentakintervall. Det vil si at vi antar at nedbør med et gjentakintervall på 10 år resulterer i avrenning med et gjentakintervall på 10 år. Modellresultater fra eksempelvis Tuyls et al. (2018) og Wright et al. (2014) indikerer imidlertid at en slik 1:1-sammenheng ikke gjelder for store urbane nedbørfelt. Det kan være rimelig å anta at antakelsen om 1:1-sammenheng er mer korrekt for små impermeable nedbørfelt uten noen naturkomponent fordi slike felt forventes å respondere raskt og proporsjonalt på nedbør. For ekstensive grønne tak er det godt kjent at de hydrologiske initialbetingelsene (dvs. vanninnholdet i vekstmediet i forkant av nedbørhendelsen) vil påvirke både avrenningsmengder og -intensiteter. Samtidig er naturkomponenten for grønne ekstensive tak minimal (< 30 mm dybde), og det ikke kjent i hvilken grad det bidrar til å bryte 1:1-sammenheng for gjentakintervall ved ekstremhendelser.

I denne artikkelen presenteres resultater fra 15 år med observasjoner (2009 – 2023) på et ekstensivt grønt tak i Oslo. Formålet er å forbedre kunnskapen om ekstreme hendelser på grønne tak. Så vidt forfatterne bekjent, representerer dataene den lengste kontinuerlige tids-serien av nedbør og avrenning fra et ekstensivt grønt tak per i dag. Målene med artikkelen er følgende:

1. Å konstruere IVF- og AVF-kurver for lokal nedbør og avrenning fra det grønne taket.

2. Å bruke resultatene til å identifisere og analysere historiske ekstremhendelser som har forekommet ilar. observasjonsperioden.
3. Å evaluere antakelsen om en 1:1-sammenheng mellom gjentakintervall for nedbør og avrenning samt diskutere ingeniørmessige konsekvenser av resultatene.

Denne artikkelen er en kortere versjon av en artikkel publisert av Paus og Braskerud (2024).

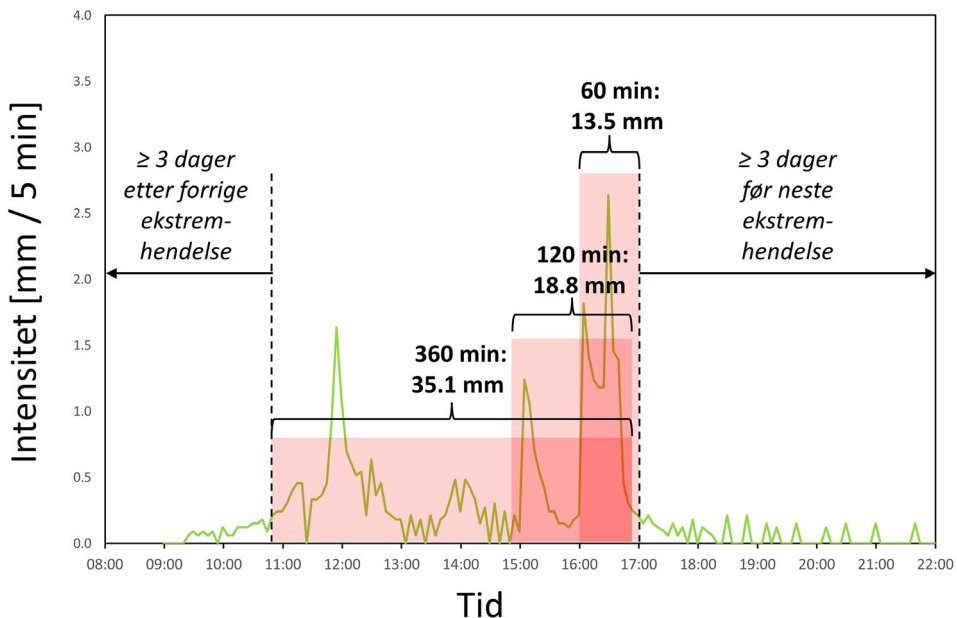
Metode

Det grønne taket ble konstruert i 2009 og ligger i Oslo. Testtaket er ett av tre grønne takflater og har et areal på 8 m² (2 m bredde x 4 m lengde), en helning på 5,5 % og er plassert på en garasje 2,5 m over bakken 214 moh. Vekstmediet (dybde på 30 mm) var sammensatt av knust lavastein, stein og kalkstein, med et totalt organisk materialeinnhold på 7 til 9 %. Vegetasjonen domineres av *Phedimus kamtschaticus*, *Sedum album*, *Sedum acre*, *Hylotelephium ewersii*, andre sukkulenter og litt mose. Taket blir gjødslet ca. hvert 3. år.

Bortsett fra å sette inn en 10 mm filtmatte mellom det 25 mm dreneringslaget i 2011, har taket forblitt uendret i 15 år. Takoppbygningen har en beregnet teoretisk lagringskapasitet på 19 mm (Johannessen et al., 2018).

Nedbør ble målt med en Lambrecht 1518 H3 plassert 5 m fra taket og 1,7 m over bakken. Nedbør er registrert hvert minutt med en presisjon på 0,1 mm. Avrenning fra taket ble samlet i en isolert oppsamlingstank. Nivået i tanken ble registrert ved bruk av en trykksensor (4techUC2) hvert 5. minutt. En pumpe tømte automatisk tanken når vannivået i tanken nådde 800 mm. Vanninnhold i vekstmediet ble målt 1 m fra takrenna ved bruk av en Vegetronix VH400. Dataene logges ved bruk av en Sutron 9210-B, og sendes automatisk til NVEs hydrologiske database. Flere detaljer om forsøksfeltet er gitt i Braskerud (2014), hvor taket er omtalt som GT1.

Nedbørsdata ble videre aggregert til 5-minutters oppløsning for å oppnå samme oppløsningen som avrenningsdata. Årlige maksimale verdier for både nedbør og avrenning ble deretter identifisert i perioden 26.04.2009 til



Figur 1. En hendelse ble klassifisert som ekstrem hvis nedbørs- og/eller avrenningsmengden for én eller flere varigheter hadde et beregnet gjentakintervall på minimum 2 år samt var adskilt med et tidsintervall på minst tre dager. Merk at illustrasjonen kun viser avrenningsmengder for varigheter på 60, 120 og 360 minutter, mens den faktiske analysen omfatter alle varigheter (fra 5 til 1440 minutter) og inkluderer både nedbør og avrenning.

30.10.2023. Det ble benyttet et såkalt «glidende vindu» for å bestemme maksimale verdier for varigheter på 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 360, 720 og 1440 minutter. GEV-fordelinger (*Generalized extreme value*) ble så tilpasset de 15 maks-verdiene for hver varighet med formål om å knytte nedbør- og avrenningsmengde til gjentakintervall (mer detaljer om metodikken er gitt i Paus og Braskerud, 2024).

Deretter ble IVF- og AVF-kurvene benyttet til å identifisere hendelser med ekstreme verdier for nedbør og/eller avrenning. En ekstremhendelse ble definert som en hendelse der én eller flere varigheter for enten nedbør eller avrenning hadde et påregnelig gjentakintervall på minimum 2 år. For å sikre uavhengighet ble hver ekstremhendelse adskilt med et tidsintervall på minst tre dager. Figur 1 illustrerer analysen som ble gjennomført for å identifisere ekstremhendelser.

Resultat og diskusjon

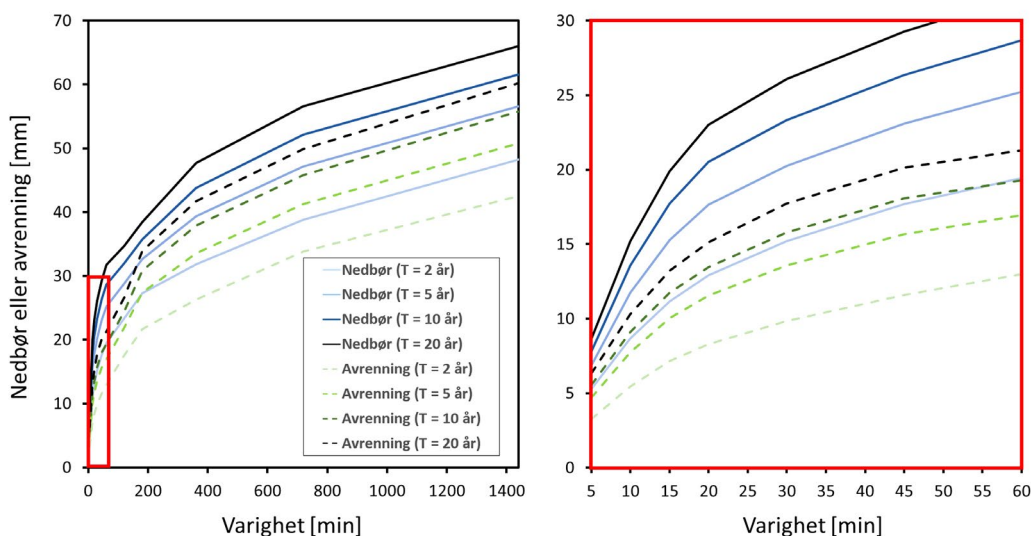
Sannsynlighet for nedbør og avrenning

Figur 2 viser beregnet IVF- og AVF-kurver for gjentakintervall på 2, 5, 10 og 20 år. Som forventet er avrenningsmengdene fra det grønne

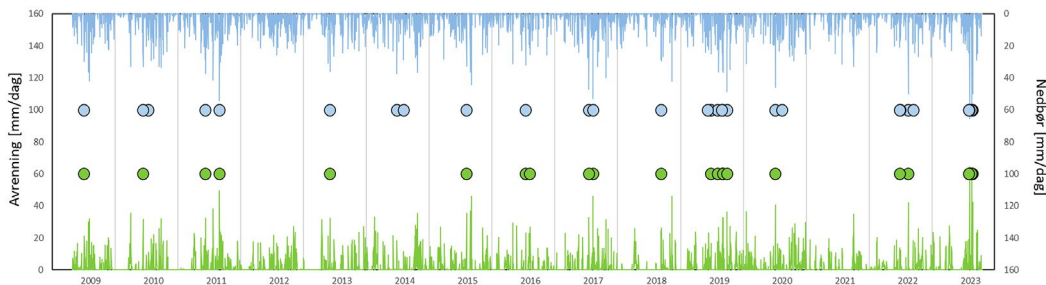
taket (grønne stiplede linjer) lavere enn nedbørmengdene gitt samme returperiode og varighet. Forskjellene er størst for korte varigheter (< 60 min) og avtar med økende varighet. For eksempel er times-avrenningen med 10 års gjentakintervall omtrent den samme som times-nedbøren med 2 års gjentakintervall. Selv om IVF- og AVF-verdiene ikke har årsakssammenheng er resultatene i tråd med tidligere rapporterte effekter på grønne tak der både økende størst retensjon normalt sees ved små nedbørmengder og korte varigheter. Når nedbørmengden øker med både varighet og gjentakintervall blir så andelen av nedbøren som tilbakeholdes av det grønne taket mindre.

Identifisering av ekstremhendelser

Ved hjelp av IVF- og AVF-kurvene ble totalt 31 ekstremhendelser identifisert. Figur 3 viser forekomsten av disse ekstreme hendelsene gjennom de 15 årene med observasjoner. Alle hendelser fant sted i den varme og våte perioden av året, spesifikt fra juni til september. I en tidligere undersøkelse av det samme forsøksfeltet (Braskerud og Paus, 2022) ble totalt 505 avrenningsepisoder identifisert i snødekte



Figur 2. Nedbørens intensitet, varighet og frekvens (IVF) og avrenningens intensitet, varighet og frekvens (AVF) for forsøksfeltet. Grafen til venstre viser alle varigheter opptil 24 timer mens kun varigheter opptil 1 time er vist i grafen til høyre.



Figur 3. Observasjoner av ekstremhendelser for nedbør (blå sirkler) og avrenning fra det grønne taket (grønne sirkler). Enkelte år hadde flere ekstremhendelser mens andre hadde ingen (f.eks. 2012 og 2021).

perioder. Ingen av disse episodene resulterte i ekstrem avrenning for varigheter mellom 5 og 1440 minutter, til tross for at noen hendelser var betydelige med hensyn til avrenningsvolumer.

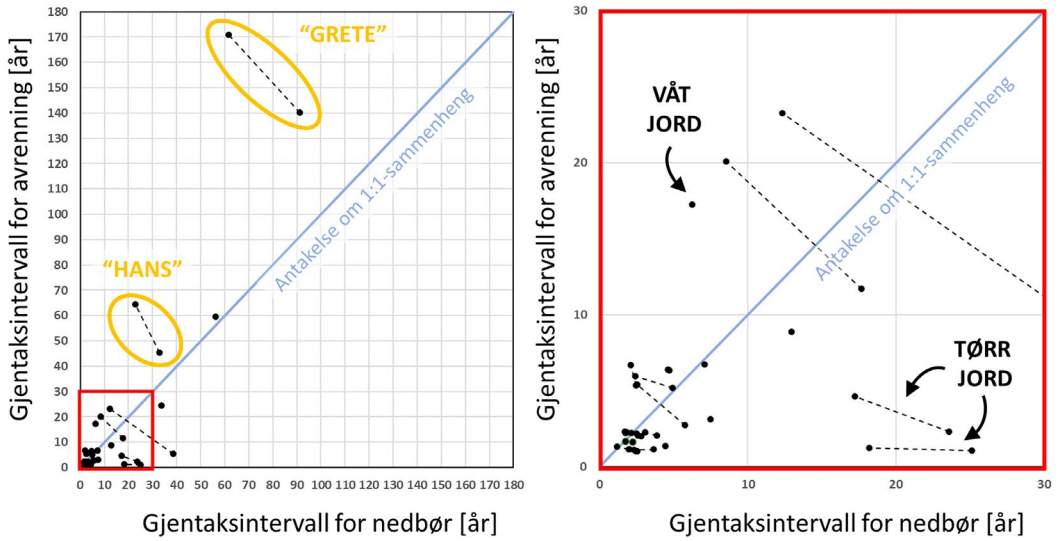
Nesten alle 31 ekstremhendelser (94 %) var knyttet til ekstremnedbør. Samtidig var det kun 69 % av de ekstreme nedbørshendelsene som medførte ekstremavrenning (dvs. avrenning med gjentakintervall på 2 år eller høyere). Det betyr altså at ekstremavrenning er et resultat av ekstremnedbør, men også at ikke all ekstremnedbør forårsaker ekstrem avrenning. Om ekstremnedbør fører til ekstremavrenning er videre avhengig av hvilken regnvarighet som har det største gjentakintervallet. Eksempelvis forekom det ikke ekstremavrenning i de fem episodene der ekstremnedbørens varighet var 5 minutter (dvs. styrtregn). Dette støtter opp om at grønne ekstensive tak håndterer korte varigheter best, men har også som konsekvens at ekstremnedbørens varighet må være lengre enn 5 minutter for å medføre ekstremavrenning med varighet på 5 minutter. Denne tendensen i forskyvning i varighet som ga høyest gjentakintervall ble funnet i ca. halvparten av hendelsene. For de resterende hendelsene var varigheten med høyest gjentakintervall lik for både nedbør og avrenning.

Sammenhengen mellom gjentakintervall for nedbør og avrenning

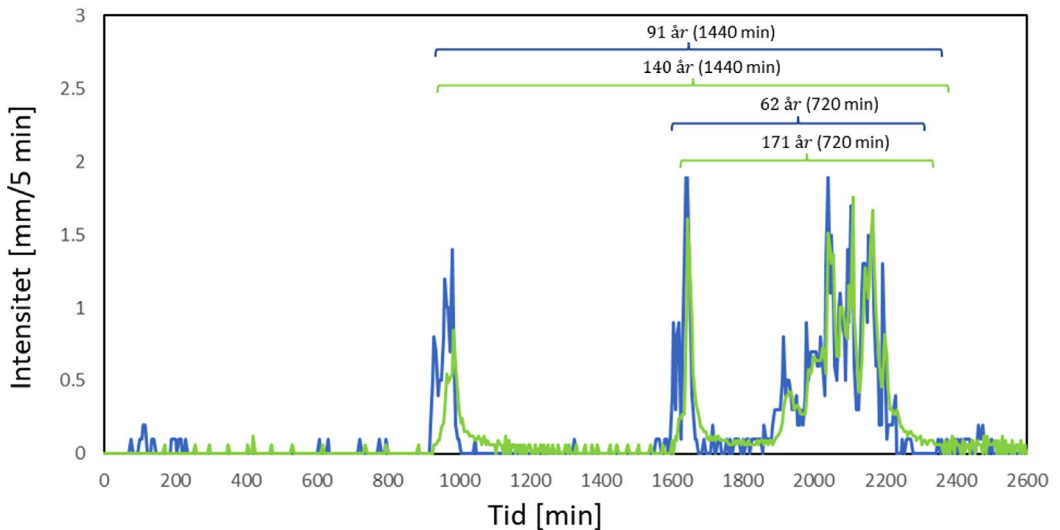
Varighets-forskyvningen som nevnt foregående vil i praksis si at ekstremnedbør med eksempelvis 60 minutters varighet vil kunne forårsake ekstremavrenning med 10 minutters varighet.

Det at varigheten med høyest gjentakintervall ikke beholdes kompliserer en direkte sammenligning mellom gjentakintervall for nedbør og avrenning, og dermed evalueringen av hvor vidt antakelsen om 1:1-sammenhengen mellom gjentakintervall gjelder for det grønne taket. Figur 4 viser de 31 ekstremhendelsene med tilhørende gjentakintervall for nedbør og avrenning. For å ivareta at varighetene med størst gjentakintervall kan være ulikt når en betrakter nedbør og avrenning, vil én enkelt ekstremhendelse kunne bestå av to punkter (sammenkoblet med stiplet linje). For å illustrere dette prinsippet viser figur 5 ekstremværet «Grete» (ca. 3 uker etter ekstremværet «Hans») der en varighet på 1440 minutter ga det største gjentakintervallet for nedbør var 140 år. For varigheten på 1440 minutter var gjentakintervallet for avrenning bare 91 år. Samtidig var det en varighet på 720 minutter som ga det største gjentakintervallet for avrenning (171 år). Gjentakintervallet for nedbør med varighet på 720 minutter var da bare 62 år. I figur 4 blir derfor ekstremværet «Grete» representert som to punkter. Selv for ekstremhendelser med gjentakintervall på rundt 2 år er det klare avvik. Oppsummert ser vi altså at ekstremhendelsene i liten grad følger forutsetningen om 1:1-sammenheng mellom gjentakintervall for samtlige skalaer av gjentakintervall. Ved å akseptere en maksimal feil i gjentakintervall på 25 % er det bare en tredjedel av hendelsene som vil kunne sies å følge 1:1-sammenhengen.

Årsaken til at det grønne taket ikke følger 1:1-sammenhengen kan langt på vei forklares



Figur 4. Gjentakintervall for 31 ekstremhendelser av nedbør og avrenning fra det grønne taket. Punkter som ligger på den blå linjen tilfredsstillter antakelsen om 1:1-sammenheng mellom gjentakintervall.



Figur 5. Nedbør (blå) og avrenning (grønt) på det grønne taket under ekstremværet omtalt som «Grete» (26.08.2023).

med forskjeller i hydrologiske initialbetingelser før ekstremnedbøren (se Paus og Braskerud, 2024 for ytterligere detaljer). Mens det er tidligere kjent at initialbetingelsene har påvirkning på avrenning, viser dette studiet at variasjonen også påvirker gjentakintervall for avrenning og dermed at 1:1-sammenhengen ikke kan forventes å gjelde.

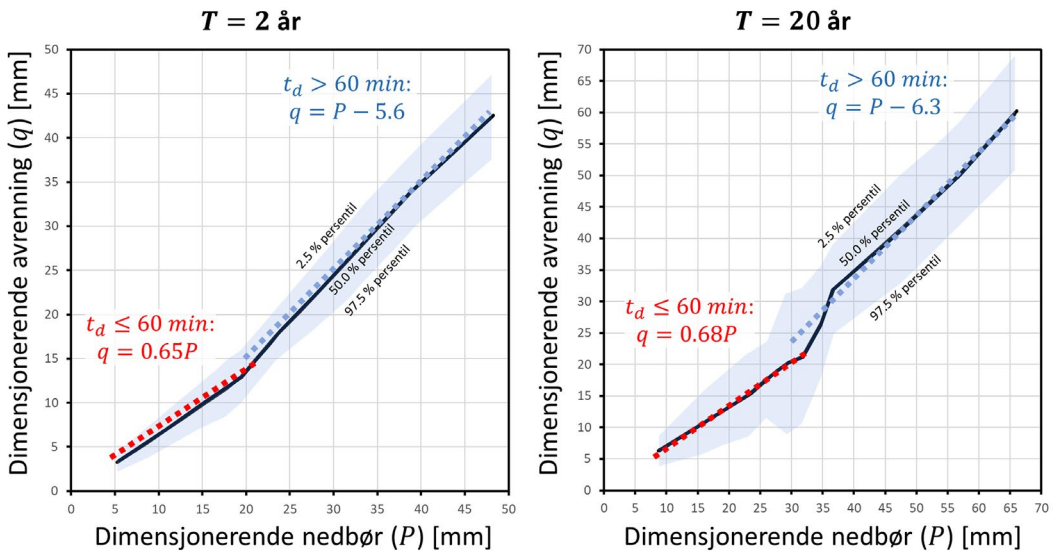
Betydning for dagens ingeniørpraksis

Resultatene i dette studiet viser at dagens ingeniørpraksis med å beregne avrenning ved å bruke et modellregn med et bestemt gjentakintervall og én eller flere varigheter, kan gi upålitelige resultater. Mens det tidligere har blitt antydnet at en 1:1-sammenheng ikke gjelder for enkelte urbane felt (Tuyls m.fl. 2018; Wright

m.fl. 2014) så er det interessant å se at antakelsen om 1:1 stemmer såpass dårlig selv for et mikroskopisk nedbørfelt (8 m²) med minimalt med løsmasser og vegetasjon. Forutsatt at det er naturkomponenten på det grønne taket som forårsaker avviket, så vil usikkerheten som introduseres ved 1:1-antakelsen måtte øke i takt med økende felt-størrelse og omfang av natur (være seg jomfruelig overflater, gressplener eller naturbaserte overvannstiltak). For eksempel, for et regnbed som har en jorddybde på 75 cm og større biologisk mangfold, blir det tenkelig at de hydrologiske initialbetingelsene ikke bare vil variere mer, men også ha en mer markant innflytelse på hydrologiske ytelse. I så fall kan en forvente enda større avvik mellom gjentakintervaller for nedbør og overskridelse av typisk designkriterier (f.eks. gjentakintervall for når regnbedet er fullt). I tillegg, hvis tiltakets nedbørfelt inneholder vegetasjon og/eller overflater med permeabilitet, vil dette ytterligere gi avvik. I et slikt tilfelle må en forvente at en antakelse om 1:1-sammenheng introduserer usikkerhet både i selve feltet, og deretter i selve regnbedet.

En mulighet for å overkomme modellregn og antakelsen om 1:1-sammenheng er å gjennomføre kontinuerlige simuleringer med historisk nedbør og temperatur, for deretter å utføre frekvensanalyser på simulerte verdier. I Norge har vi stort sett så lange tidsserier for nedbør at dette er mulig. Eksempelvis finnes det fritt tilgjengelig minutt-nedbør og temperaturer fra Blindern, Oslo, tilbake til 1968. I dag har vi også en flere anerkjente modeller for langtidssimulering av grønne tak deriblant SWMM (Stormwater Management Model) (Rossman, 2015), reservoarmodeller (Vesuviano et al., 2013) samt ulike datadrevne modeller (Abdalla et al., 2021). På grunn av modellenes fundamentale forskjeller forventes det en variasjon i deres evne til å beskrive ekstremhendelser, og det er derfor et behov å få mer kunnskap om hvordan modeller bør benyttes med formål om å simulere troverdig AVF-statistikk.

Gitt at IVF og AVF-kurver er utarbeidet så vil det kunne være mulig å bruke verdiene til å lage enklere standardiserte likninger (surrogatmodeller) for å beregne avrenning der både



Figur 6. Forholdet mellom nedbør og avrenning beregnet ved hjelp av IVF- og AVF-data for returperioder på 2 år (venstre) og 20 år (høyre) for et enkelt grønt tak i Oslo. Usikkerhetsintervallene representerer beregnede 95 % konfidensgrenser for avrenning for det spesifikke gjentakintervallet. Prikkede linjer representerer ligninger som kan brukes til å forutsi avrenning fra det grønne taket samtidig som gjentakintervall og varigheten fra IVF-verdien bevares.

dimensjonerende gjentakintervall og varighet ivaretas bedre enn ved bruk av modellregn. Figur 6 viser slike likninger for det grønne taket med gjentakintervall på henholdsvis 2 og 20 år. Verdier for nedbør (P) og avrenning (q) i figuren ble bestemt ved å løse GEV-likningene for de ulike varighetene (Paus og Braskerud, 2024). Resultatene tyder på at for korte varigheter (≤ 60 min) kan avrenningsmengden bestemmes ved å multiplisere dimensjonerende nedbør fra IVF-statistikken med en konstant på 0,65 til 0,68. For lengre varigheter (> 60 min) kan et rimelig estimat av avrenning forutsies ved å trekke fra en verdi mellom 5,6 til 6,3 mm fra dimensjonerende nedbør. Selv om likningene ikke er basert på årsakssammenheng mellom nedbør og avrenning, er det konseptuelle likheter i hvordan vi kan se for oss at avrenning fra et grønt tak kan beskrives gjennom avrenningskoeffisienter (0,65 – 0,68) og faste retensjonsverdier (5,6 – 6,3 mm).

Konklusjoner

Vår analyse av 15 år med observasjoner av nedbør og avrenning har gitt ny innsikt i ytelsen til et ekstensivt grønt tak under ekstremhendelser:

1. Frekvensanalyser viser at det grønne taket holder tilbake en betydelig andel av det vi ofte tenker på som kortvarig styrtregn (ekstremnedbør med varigheter kortere enn 1 time). Det gir et sterkt argument for utbredt implementering av grønne tak i urbane områder som er sårbare for skade fra kortvarige nedbørshendelser.
2. Resultatene viser at variasjoner i hydrologiske initialbetingelser (dvs. vanninnholdet i vekstmediet i forkant av en ekstremhendelse) gjør at antagelsen om 1:1-sammenheng mellom gjentakintervall for nedbør og avrenning ikke stemmer. Eksempelvis kan nedbør med 2 års gjentakintervall forårsake avrenning med 7 års gjentakintervall når takets medium har et høyt vanninnhold i forkant av ekstremnedbør, og vica versa. Sannsynligheten for at et 10 års regn skal forårsake 10 års avrenning må derfor forventes å være svært lav.

3. Forutsatt at det er naturkomponenten på det grønne takets dekke som medfører at 1:1-sammenhengen ikke stemmer, antyder resultatene at modellregn er uegnet ved beregning av overvannsmengder fra permeable overflater og/eller dimensjonering av naturbaserte overvannstiltak. Simuleringer ved bruk av modeller som benytter lange tidsserier med nedbør og temperatur vil eliminere usikkerheten som følger med modellregn-tilnærminger. Samtidig trenger vi mer kunnskap om hvordan best utvikler og setter opp modeller, slik at de gir oss realistiske beskrivelser og verdier av avrenningsmengder ved ekstremhendelser.

Takkisgelser

Vi takker Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) for deres praktiske assistanse under oppsett og reparasjon av overvåkingsinstrumentene. Instrumentene finansiert av NVE og EU-Interreg 4b-prosjektet SAWA. Vi vil også takke for støtten fra Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) og Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

Referanser

- Abdalla, E.M.H., Alfredsen, K. og Muthanna, T.M. 2022. Towards improving the calibration practice of conceptual hydrological models of extensive green roofs. *Journal of Hydrology* 607, 127548.
- Abdalla, E.M.H., Pons, V., Stovin, V., De-Ville, S., Fassman-Beck, E., Alfredsen, K., Muthanna, T.M. 2021. Evaluating different machine learning methods to simulate runoff from extensive green roofs. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25(11), 5917-5935.
- Braskerud, B.C. 2014. Styrtregn og avrenning fra grønne tak med sedumvegetasjon. *VANN* nr. 4 (49)
- Braskerud, B.C., Paus, K.H. 2022. Retention of snowmelt and rain from extensive green roofs during snow-covered periods. *Blue-Green Systems* 4(2), 184-196.
- Javelle, P., Ouarda, T.B.M.J., Lang, M., Bobée, B., Galéa, G., Grésillon, J.-M. 2002. Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index-flood method. *Journal of Hydrology* 258(1), 249-259.

- Johannessen, B.G., Hamouz, V., Gragne, A.S., Muthanna, T.M. 2019. The transferability of SWMM model parameters between green roofs with similar build-up. *Journal of Hydrology* 569, 816-828.
- Johannessen, B.G., Muthanna, T.M., Braskerud, B.C. 2018. Detention and Retention Behavior of Four Extensive Green Roofs in Three Nordic Climate Zones. *Water* 10(6), 671.
- Liu, W., Feng, Q., Chen, W., Wei, W. 2020. Assessing the runoff retention of extensive green roofs using runoff coefficients and curve numbers and the impacts of substrate moisture. *Hydrology Research* 51(4), 635-647.
- Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P.S., Arnbjerg-Nielsen, K., Philip, M., Binning, J. 2014. Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications. *Journal of Hydrology* 519, 3237-3248.
- Paus, K.H., Braskerud, B.C. 2024. Runoff from an extensive green roof during extreme events: Insights from 15 years of observations. *Hydrological Processes* 38(6)
- Paus, K.H., Høylye, S.S., Bjørnsen, S.L., Nilsen, V., Nordheim, L.-G., Friborg, T. 2022. Samfunnsøkonomisk analyse av sjablongmessige krav til fordroyning av overvann. *Vann* 2.
- Peng, Z., Stovin, V. 2017. Independent validation of the SWMM green roof module. *Journal of Hydrologic Engineering* 22(9).
- Razzaghmanesh, M., Beecham, S. 2014. The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate. *Science of The Total Environment* 499, 284-296.
- Rossman, L.A. 2015 *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. Agency, U.S.E.P. (ed).
- Stovin, V., Poë, S., Berretta, C. 2013. A modelling study of long term green roof retention performance. *Journal of Environmental Management* 131, 206-215.
- Stovin, V., Vesuviano, G., Kasmin, H. 2012. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology* 414-415, 148-161.
- Tuyls, D.M., Thorndahl, S., Rasmussen, M.R. 2018. Return period assessment of urban pluvial floods through modelling of rainfall-flood response. *Journal of Hydroinformatics* 20(4), 829-845.
- Vesuviano, G., Sonnenwald, F., Stovin, V. 2013. A two-stage storage routing model for green roof runoff detention. *Water Science and Technology* 69(6), 1191-1197.
- Wright, D.B., Smith, J.A., Baeck, M.L. 2014. Flood frequency analysis using radar rainfall fields and stochastic storm transposition. *Water Resources Research* 50(2), 1592-1615.
- Zhang, S., Lin, Z., Zhang, S., Ge, D. 2021. Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations. *Journal of Environmental Management* 291, 112682.
- Zhang, Q., Miao, L., Wang, X., Liu, D., Zhu, L., Zhou, B., Sun, J., Liu, J. 2015. The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning* 144, 142-150.